

平成28年度環境管理センター公開講演会 「資源循環からみた未来社会の構図」

永禮 英明
岡山大学環境管理センター
岡山市北区津島中3-1-1

1. 概要

環境月間行事として、平成28年度環境管理センター公開講演会を以下のとおり開催した。

日 時：平成28年6月18日（土）13:15~17:05

場 所：岡山大学創立50周年記念館

テーマ：資源循環からみた未来社会の構図

趣 旨：地球上の国々は、地球環境問題や化学物質等に起因するリスク等、環境面でさまざまな制約要因を抱えている。このような状況のもとに、社会全体を見通しつつ資源の循環をはかり持続可能な社会を設計するには、どのような認識のもとにどのような行動をとればよいのか、また社会で何が行われているのかを知り、変化の方向性を描くことが重要ではないかと思われる。そのためのヒントを探る。

以下、講演会での講演内容について概要を報告する。なお、ここに記す概要は、筆者が講演を聞き、まとめたものである。

2. 各講演の概要

(1) 講演1：(一財) 持続性推進機構・理事長 安井 至 氏

「人類と地球の関係が変わる21世紀の未来設計図」

2015年12月、パリで開催された国連気候変動枠組条約第21回締約国会議（COP21）では、2020年以降の温室効果ガス排出削減等のための新たな国際枠組みとしてパリ協定が採択された。協定では世界共通の長期目標として産業革命前からの地球平均気温上昇を2℃より十分下方に保持し、さらに1.5℃に抑える努力を追求することとしている。さらに、今世紀後半には温室効果ガスの人為的な排出と吸収をバランスさせるとする“Net Zero Emission”の考え方が示されている。

この協定は脱炭素を前提とした「逆産業革命」を起こすことを社会に要求している。18～19世紀に起きた産業革命は、化石燃料の利用技術を基本としている。今後は二酸化炭素排出を排出しない技術でもって社会を変革していくことが求められている。それが「逆産業革命」である。

COP21において日本が提出した約束草案では、2030年までに26%削減（2013年比）としている。また、2007年に当時の安倍内閣で発表された「2050年までに80%削減」は現在でも国際公約として有効である。つまり、日本は2030年、2050年、そして今世紀後半に向け、大幅に温室効果ガス（GHG）排出量を削減していかなければいけない。

日本はNet Zero Emissionと同時にエネルギー自給を目指すべきである。日本のエネルギー自給率は4%にとどまり、日本はエネルギー安全保障上問題のある、世界でほぼ唯一の先進国である。エネルギー自給は日本の歴史的悲願である。

エネルギー自給を実現するためには、人口減少を生かしながら再生可能エネルギーを最大限活用すべきである。再生可能エネルギーは発電量の不安定性が課題であるが、専用の不安定電力網を作り、需要者もこれを受け入れることも必要であろう。また、社会のあらゆるレベルで自給が求められるだろう。

もう一方の道として自給を諦め、東アジア地域でヨーロッパ的国際送電網を構築し韓国、中国から電気を購入することも考えられるかもしれない。ただしこの場合、新たな国際的リスクとなる懸念もある。

2050年に-80%を目指すにおいて、残り20%をどのように利用すべきか。鉄鋼業、セメント製造業などはGHG排出削減を実現しにくい業種であり、これら業種においてNet Zero Emissionは現段階では不可能である。むしろ「20%の排出余地がある」ととらえ、この枠をこれら業種に割り当ててほしいだろう。

Net Zero Emissionを実現するためには、化石燃料から全面離脱するか、二酸化炭素の回収・貯蔵（Carbon Capture and Storage ; CCS）技術を導入するしかない。CCSは排出量を稼ぐことができ、Net Zero Emissionを実現できる唯一の技術であるが、大きな投資リスクを伴う。特に再生可能エネルギー生産ポテンシャルが比較的小さい西日本ではCCSの導入が不可欠と考えられるが、その一方で活断層も多く導入が難しい。西日本でのGHG排出削減は日本の大きな課題である。また、CCSで貯留できるCO₂は日本全体で1～2億トン／年にとどまるとの評価もある。

大転換時代は「多くのリスクと多くのチャンス」を生み出す。パリ協定実現のためには、価値の大転換が必要である。リスクとチャンスを事前に評価し、準備まで完了した上でタイミングを伺う姿勢が必要で、過去の延長で将来を考えるのではなく、未来の目標から現在の対策を考えるべきである。

ea エコアクション21

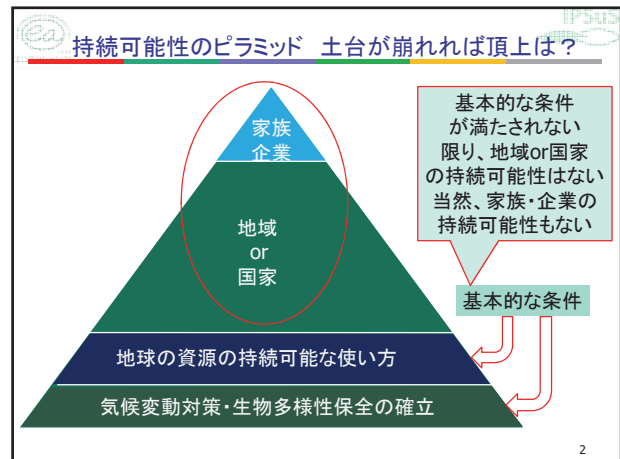
icef

IPSUs

人類と地球の関係が変わる 21世紀の未来設計図

安井 至
(一財)持続性推進機構 理事長
(独)製品評価技術基盤機構 名誉顧問
東京大学名誉教授
国際連合大学元副学長
<http://www.yasuienv.net/> 20年目突入 884万アクセス感謝
yasui_itaru@nifty.com

1



ea

IPSUs

CEを過度に評価するのは危険

- EUという組織では、担当の間での勢力争いがあると考えることが、ほぼ必須である。
- CEは、UNFCCC枠組みに関する考察を、敢えて軽視している可能性が高い。
- あるいは、パリ協定の中身が、これほどの内容になる(=今世紀中でのNet Zero Emissionまで踏み込む)ことを、CEを作成中に想定できていなかった可能性が高い
- したがって、CEは、かなり早く鮮度を失うのではないか？

Circular Economy by EU

3

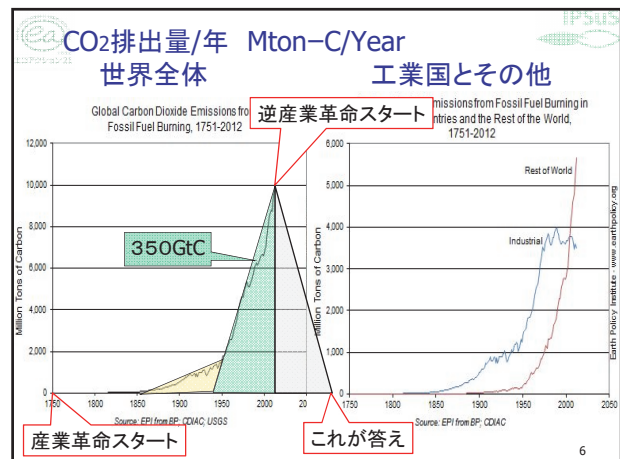
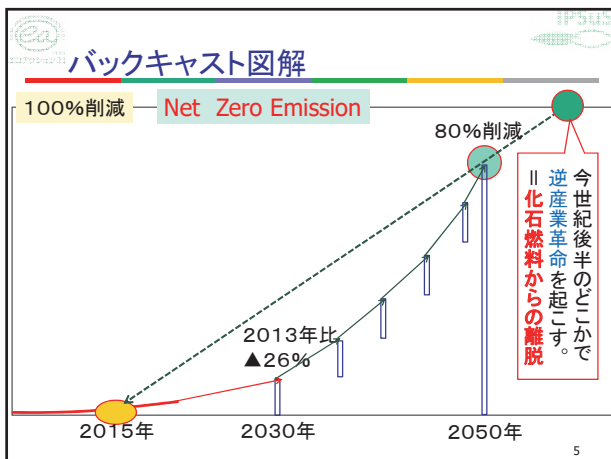
ea

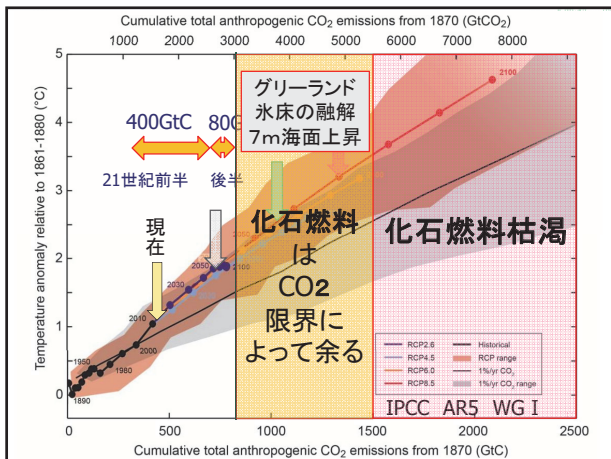
IPSUs

パリ協定の あらゆる学問体系が急変する爆発力！

- 大過去：と言っても、2000年ぐらい
 - 化石燃料はいずれ枯渇する。そのため、エントロピーをエネルギーで買い戻すことは難しくなる。
- 小過去：2014年まで
 - シェールガスなどがまだまだ豊富に存在しているので、価格は下がる。エネルギーをふんだんに使った循環が経済性をもつ。
- パリ協定以後：2015年12月から
 - 今世紀、化石燃料からの全面離脱がCCSが必須
 - 脱炭素を前提とした逆産業革命が起きる

4





原発に依存するという各国のシナリオ

- 中国・韓国は、依存拡大路線
- ヨーロッパ(フランス・英国)、米国は、依存度縮小するが継続の方針
- ドイツと日本が、ゼロ原発を目指す可能性がある国
- 個人的見解は、現在の第3世代原発は超長寿命核種が副生するという点で、欠陥商品である
 - Np-237=214万年、Am-241=432年
- 日本が近々持つであろう≒50トンのプルトニウムは、テロに狙われると危険
- 対応は高速減容炉&SuperSafe第4世代原発か？
- 特に、前者は必須なので、開発開始をどこで決断
- 現時点だと、ASTRIDプロジェクトに近い

Net Zero Emission時代の製造業

様々な困難が待ち受ける

- 鉄鋼業：鉄鉱石の還元を水素だけでできるか
- 電炉のみで鉄の供給量を満たせるか
- 非鉄金属のリサイクル：CO₂ゼロで可能か
- セメント製造：石灰岩を使わない方法はあるか
- 石油化学による製品：燃やすとCO₂がでるので焼却ができなくなるか
- 石化製品のすべてをバイオ原料で作れるか
- ガラス製造：再エネの電力のみで製造できるか
- 都市ガス：水素のみで供給するのか。水素はどうやって製造するか。

資源循環技術も同様の検討を

- 自動車のリサイクルはどうする
 - 鉄に銅が混じることに対応すべきか
 - 銅の使用制限はあり得るのか
 - 重希土類は本当に必要不可欠なのか
- プラスチックというものをどう使うか
 - ゼロカーボン・プラスチックは現実的か
 - 廃プラを水素源し、炭素は固形物で埋めるという方法はあり得るのか
- 家庭用電気製品等のDFEはどうなっているか
- 2050年の容り法などのリサイクル法は

西日本は、CCSが必須！？！？

自然エネルギーが不足

- 電力の長距離輸送は、コスト増になる
- 製鉄、セメントなどの産業は西日本に集束
- 化石燃料+CCSの技術を極めることが必須
- CCSには、地盤の安定性が最重要
- 日本海がやはり候補だろう
- CCSの実行は、恐らく2040年ごろから数10年間。次の南海地震が終われば、比較的安定か。

結論

- 大転換時代を乗り切るには、技術だけではダメ
- 現時点の自動車業界と同じグローバルマインドによる対応がすべての企業・大学・自治体に求められる
- マインドの条件
 - 人類レベルでの正義による“ゴール”の設定ができること
 - その実現を推進する姿勢を保ちつつ、適切な環境対応を実現できること
- 日本人的な体質を変える
 - 過去の出来事を見て、現在の方針を決める傾向が強く、未来を読み、それに基づいた決定をしない
 - 一つは、日本人の科学リテラシーの低さが問題
 - 一つは、リスクベースでものを考える訓練を受けていない

(2) 講演2：東京大学大学院工学系研究科マテリアル工学専攻・特任准教授 醍醐 市朗 氏
「都市鉱山を活用する資源循環の未来」

「都市鉱山」という言葉は、1988年に東北大・南條道夫教授によって初めて用いられた。材料は使用途中に役立っているのであって、購入することに意味があるのではない。我々は日々、天然資源を消費し様々な製品に加工して使用し、社会に蓄積している。資源が蓄積した社会こそが都市鉱山であり、我々の消費活動は都市鉱山の造山活動ともいえる。

一般に天然資源の残存量は可採年数で語られることが多い。しかし、可採年数の算出に用いられる埋蔵量が採掘技術の発達、経済価値、新たな鉱山の発見によって増加するため、可採年数自体は重要な数値ではない。

天然資源消費によって生じる問題は品質の低下と、それに伴う製造コストの上昇である。天然資源の品位は産地によって異なり、一般に高品位のものほど存在量は少ない。市場では高品位のものから消費される。高品位品の供給量が低下した場合、低品位品の使用が避けられず、加工費用が一気に高騰する。ニッケルではまさにこれが生じている。1870年代には鉱石中ニッケル含有率が12%程度あったものが近年では1%程度にまで低下している。

天然資源消費量と廃棄物発生量の削減を目的としてリサイクルが促進される。リサイクルにおいて課題となるのが合金である。金属は用途に応じて様々な合金に加工され使用されている。単純なリサイクルでは質の異なる合金を混ぜてしまうことになり、リサイクルを困難にする。例えば、鉄鋼材から銅を分離するのは困難である。アルミニウムでは合金成分の多いものはダイカストとして使用されるなど、成分に応じたカスケード的なリサイクルが行われている。

リサイクルと同時に社会での蓄積、すなわちストックの増加を抑制することが天然資源消費量の削減には不可欠である。1年間に日本国内に投入される資源量16.7億トンのうち、5.2億トンが社会に蓄積されている。蓄積量を削減することによる投入量削減効果は大きい。

社会蓄積量の削減には使用原単位を小さくし、より少量の資源で同等の機能・製品を実現することが不可欠である。また、製造当初からリサイクルを見据え、「可採な資源」として蓄積することも重要であろう。

我々はなるべく小さく、かつ、リサイクルしやすい都市鉱山を造る「物質ストック管理型社会」を実現すべきである。

都市鉱山(南條1988)

5. 1 都市鉱山の概念

資源の偏在と有限性は必然的に省資源(省エネルギーも含む)への指向を意味した。前述のように、人類の歴史は資源探査、採掘の歴史でもあり、その消費量は累積すると莫大な量に上った。全ての資源が人類の発展と人口の増加に寄与して来たとは言いがたいが、地上に蓄積された工業製品を再生可能な資源と見做し、その蓄積された場所を都市鉱山(urban mine)と名付けた。

2005年度 醍醐市朗、井島清、原田幸明
材料は使っているときに役に立っている
需要量やスクラップ発生量ではなく
『社会蓄積量』に関する研究

NIMS-EMC材料環境情報データNo.12
社会蓄積量の把握に関する専門家意見調査2006.3



その後、『都市鉱山』の名称でブレイク!

東京大学大学院工学系研究科 マテリアル工学専攻 環境マネジメント工学講座



社会蓄積 ≡ 都市鉱山

- 社会蓄積 material stock
 - 事実を言ってる(学術的)
 - 役に立ってる量
 - 使い終わった後に役に立つ量
- 都市鉱山 urban mine (mining)
 - 使い終わった後に役に立つ量

東京大学大学院工学系研究科 マテリアル工学専攻 環境マネジメント工学講座



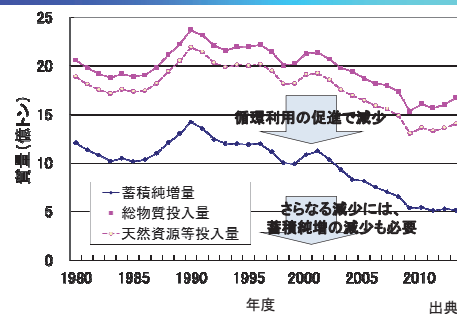
何のためにリサイクル促進?

- 天然資源消費量の削減
 - 製造原料(入口側)において、天然資源含有率が少なければよい
- 廃棄物発生量の削減
 - 廃棄時(出口側)において、最終処分される割合が低い方がよい

東京大学大学院工学系研究科 マテリアル工学専攻 環境マネジメント工学講座



蓄積純増量(日本)の推移

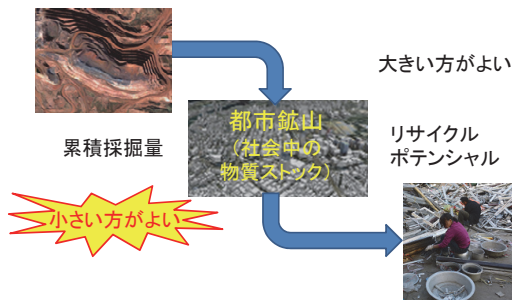


蓄積純増量は、資源投入量に対しほぼ一定割合で推移

東京大学大学院工学系研究科 マテリアル工学専攻 環境マネジメント工学講座



都市鉱山は 大きい方がよい? 小さい方がよい?

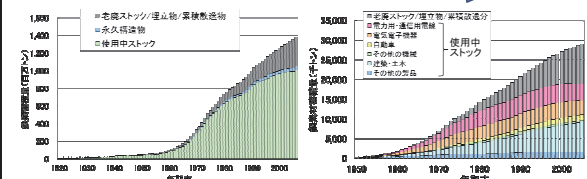


東京大学大学院工学系研究科 マテリアル工学専攻 環境マネジメント工学講座



都市鉱山とin-use stock

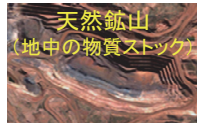
物質ストックとして計上されるが、機能を発現せず、既に使用済みとなっている物質ストックがある



東京大学大学院工学系研究科 マテリアル工学専攻 環境マネジメント工学講座



都市鉱山は人の手で造られる



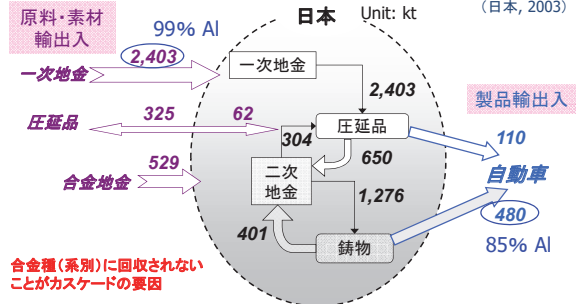
都市鉱山から採掘(排出)される鉱物(廃棄物)ありきで、選鉱・精錬(リサイクル)方法を考えている



なるべく小さく 都市鉱山を造る

東京大学大学院工学系研究科 マテリアル工学専攻 環境マネジメント工学講座

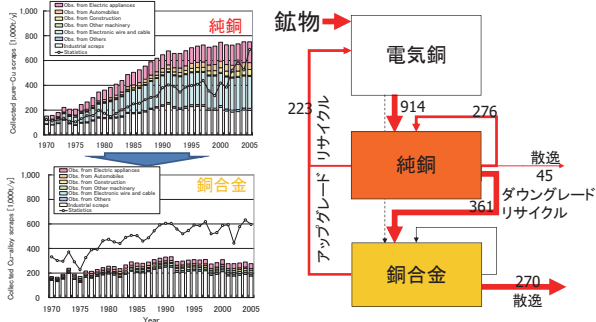
アルミニウムのカスケードリサイクル



畑山博樹, 山田宏之, 藤岡市朗, 松野泰也, 足立芳寛: アルミニウムの合金元素を考慮した動的マテリアルフロー分析, 日本金属学会誌, 70(12), (2006) 975-980

東京大学大学院工学系研究科 マテリアル工学専攻 環境マネジメント工学講座

銅素材のカスケードリサイクル



純銅と銅合金が区別されずに回収されることとめっきの存在がカスケードの要因
I. Daigo et al., Resources, Conservation & Recycling 53 (2009) 208-217.

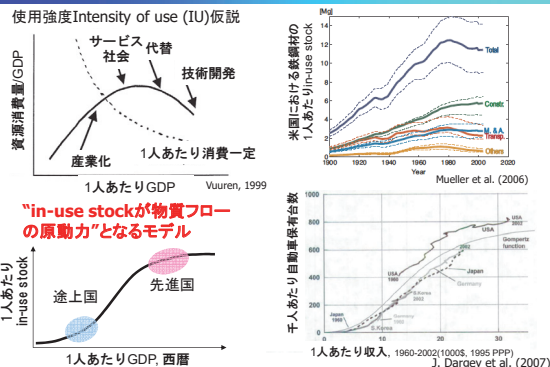
東京大学大学院工学系研究科 マテリアル工学専攻 環境マネジメント工学講座

都市鉱山を"可採な資源"にする



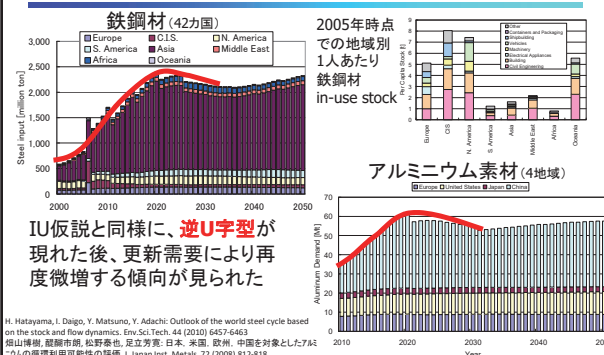
東京大学大学院工学系研究科 マテリアル工学専攻 環境マネジメント工学講座

ベースメタルの将来需要推計



東京大学大学院工学系研究科 マテリアル工学専攻 環境マネジメント工学講座

In-use stockによるベースメタルの将来の需要推計



東京大学大学院工学系研究科 マテリアル工学専攻 環境マネジメント工学講座

(3) 講演3：川崎市経済労働局国際経済推進室 小林 昭一 氏

「川崎エコタウン事業の経験と今後の取組 ～ 環境技術・環境産業を活かしたサステナブル・シティの創造に向けて～」

川崎市では、過去公害問題に取り組む過程で、優れた環境対策技術・ノウハウが蓄積されてきた。事業者は公害対策に対し積極的な投資を行い、公害防止関連技術者を養成し、公害防止技術を開発し、ノウハウを蓄積してきた。行政も被害者救済者制度の整備、公害防止条例制定、事業者との大気汚染防止協定締結、そして監視体制の整備（常時監視）などを行ってきた。市民もまた、環境に対し高い意識を持って接してきた。

ものづくり技術を有する多様な企業だけでなく、研究開発機関も多数立地しているのも川崎の特徴の一つだ。「川崎エコタウン事業」は、このような特徴を活かし、環境技術の蓄積と環境の切り口による産業再生・都市再生を行ってきた。

エコタウン事業は1997年から始まった国の制度であり、環境産業の振興、廃棄物の発生抑制・リサイクル推進を通じた資源循環型経済社会の構築を目的とする。全国26地域でエコタウン地域が承認され、川崎市は1997年に全国第1号事業として国から承認を受けている。川崎臨海部全域（2,800 ha）が対象エリアとなっているのも特徴の一つである。

当時、社会・経済状況は大きな変化の時期にあり、川崎市も様々な問題を抱えていた。バブル経済崩壊に伴い経済は低迷し、アジア諸国の急速な工業化が進展し国内産業は弱体化していた。その一方、地球環境問題が認識されるようになっていた。川崎臨海部では臨海部再編、工業活性化、住工混在の緩和などが課題となっていた。このような背景のもと、川崎環境調和型まちづくり基本構想（エコタウン構想）が策定された。

本事業の実施により、新規のリサイクル施設の設置等が進められ、廃プラスチック高炉還元剤化施設や、家電リサイクル施設のほか、廃プラスチックアンモニア原料化施設など特徴のある施設も建設された。その結果、約半径1.5 kmの範囲に資源リサイクル施設が集中して立地し、リサイクル事業の一大拠点となっている。

現在、エコタウン事業にも課題がある。取り組みの停滞、施設老朽化、規制等に起因する資源循環の調達への苦慮、資源価格の下落等による採算性の悪化、イノベーション不足などの課題が指摘されている（環境省資料）。エコタウン承認地域内の自治体や企業が、これらの課題を解決していくことで日本の循環産業全体の成長につながるはずである。

川崎市としては、エコタウン事業を発展させグリーンイノベーションを推進する方針である。ここでは、①環境技術・環境産業の振興、②優れた技術を活かす環境配慮の仕組みづくり、③多様な主体の協働による環境技術を活かしたまちづくり、④環境技術を活かした国際貢献の推進を柱に、環境技術・環境産業を活かしたサステナブル・シティの創造を目指している。

川崎エコタウンは、全国的にも資源循環のショーケースとしての役割を果たしてきている。これからは資源循環だけでなく、低炭素化の視点も不可欠であろう。今後もさらに新たな視点を取り入れながら事業を前進させていく予定である。

川崎市の産業の特徴

- 京浜工業地帯の中心として発展した産業都市
⇒ 幅広い産業の集積地域
内陸部： 電機、機械
臨海部埋立地域： 鉄鋼、石油、化学
- 公害問題への取組
⇒ 環境技術の蓄積と環境の切り口による産業再生、都市再生
- アジア諸国の追い上げなどへの対応
⇒ 研究開発機関の集積によるイノベーション都市への変革
- 東京、横浜との近接性を活かした発展
- 羽田空港の国際化
⇒ アジアとのゲートウェイとして更なる発展の可能性



5

川崎の公害の経験



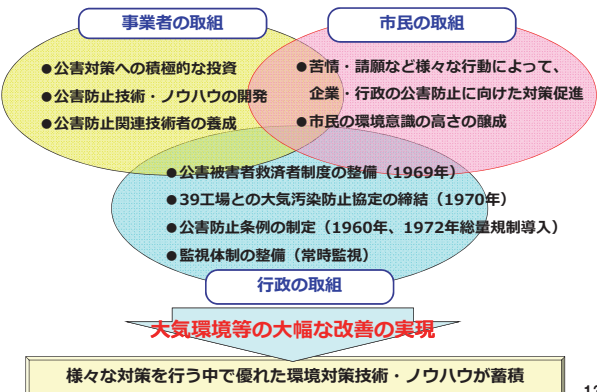
<1966年川崎臨海部上空>



<2010年川崎臨海部上空>

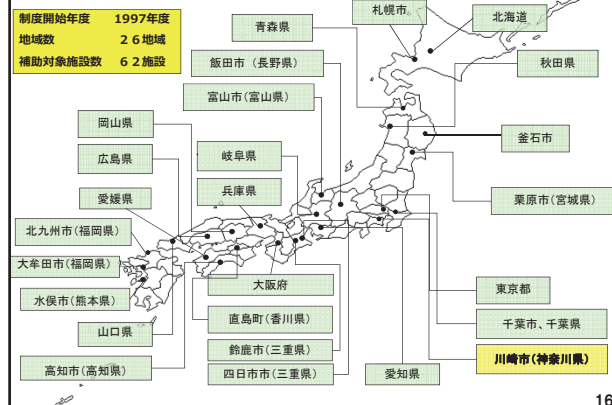
12

公害対策で培われた技術・ノウハウ



13

全国のエコタウン承認地域



16

川崎エコタウン構想策定の背景①

- 【1990年代】 ⇒ バブルの崩壊による長期経済低迷
⇒ アジア諸国の急速な工業化

時代の要請

- <構造転換>
- 国際競争力の向上
 - 新産業の育成
 - 原材料・製品の再利用・再資源化
 - 国際的な交流拠点・機能強化
- <環境問題>
- エネルギー消費
 - 地球温暖化
 - 廃棄物の社会問題

当時の川崎臨海部の課題

- 臨海部再編整備
- 工業の活性化
- 住工混在の緩和 など

川崎臨海部の潜在的ポテンシャル

川崎環境調和型まちづくり基本構想（エコタウン構想）の策定

17

川崎エコタウンの概要

- 1997年に国からエコタウンプラン承認（全国第1号）
⇒ 川崎市の他、北九州市、岐阜県、長野県飯田市も1号承認
- 川崎臨海部全体（2,800ha）が対象エリア



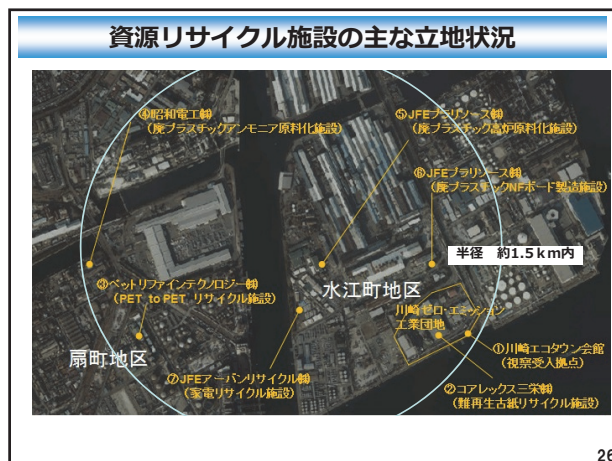
<エコタウン承認基準>

- 1) 独創性、先駆性
- 2) 関係者への配慮
- 3) 生活環境に優しいリサイクル
- 4) 廃棄物の適正処理
- 5) 大きな意欲
- 6) 適切な施設規模
- 7) 資金面の手当
- 8) 採算性

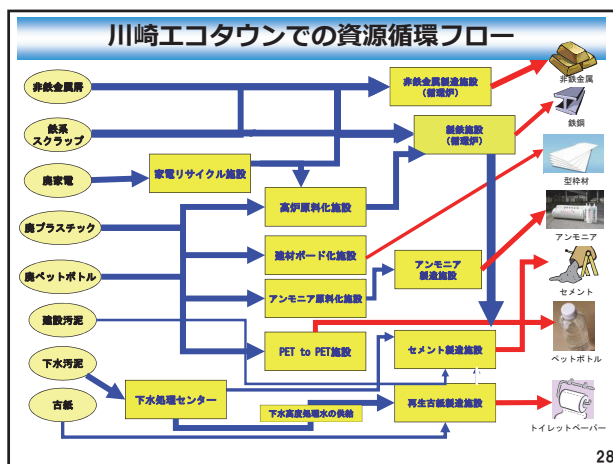
19

川崎エコタウン 資源リサイクル施設一覧		
●資源リサイクル施設一覧		
廃プラスチック高炉原料化施設 2000年～	処理対象物：プラスチック製容器包装	JFEブラリソース（株）
家電リサイクル施設 2001年～	処理対象物：廃家電（テレビ・冷蔵庫・エアコン・洗濯機）	JFEアーバンリサイクル（株）
廃プラスチック製コンクリート 型枠用パネル製造施設 2002年～	処理対象物：プラスチック製容器包装	JFEブラリソース（株）
廃プラスチックアンモニア 原料化施設 2003年～	処理対象物：プラスチック製容器包装	昭和電工（株）
再生古紙リサイクル施設 2002年～	処理対象物：再生古紙	コアレックス三栄（株）
PET to PETリサイクル施設 2004年～	処理対象物：廃ペットボトル	ベトリファインテクノロジー（株）
※ これら以外にも、次の企業にてリサイクルを実施 ●セメント製造施設（株式会社デイ・シー） ⇒ 産業廃棄物を燃料や資材として活用 ●非鉄金属製品製造施設（株式会社YAKI N川崎） ⇒ ステンレス廃材を高炉に配合し、原料として活用		

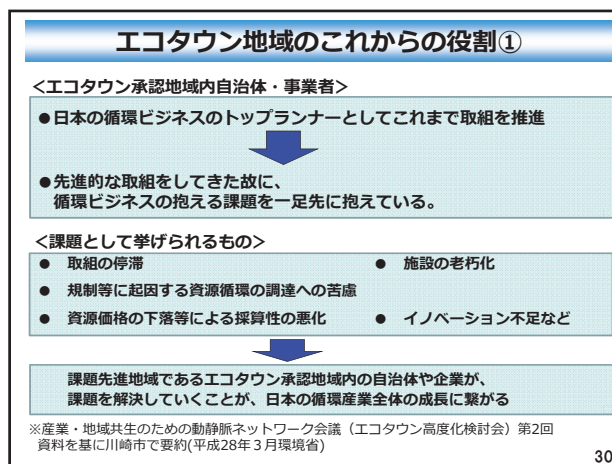
21



26



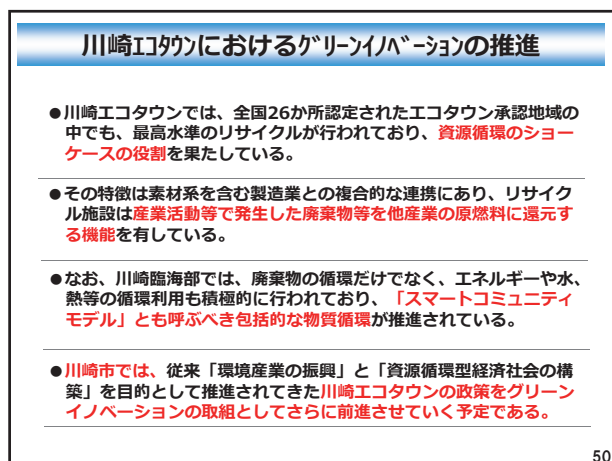
28



30



36



50